

ANALISA KARAKTERISTIK GELOMBANG DI PANTAI BULO RERER KECAMATAN KOMBI KABUPATEN MINAHASA

Yosua Aditya Ratu

Muh. I. Jasin, Jeffry D. Mamoto

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

email: yosua.aditya_ratu@yahoo.com

ABSTRAK

Pantai Bulu Rerer yang sangat berpotensi sebagai daerah wisata, berdasarkan pengamatan di lapangan ternyata telah mengalami perubahan fisik (kerusakan) pada daerah pesisir pantai. Kerusakan ini diakibatkan oleh proses dinamika pantai seperti abrasi yang berdampak buruk serta menimbulkan kekhawatiran bagi warga pesisir pantai tersebut. Oleh sebab itu dalam pengembangan dan pengamanan daerah pesisir serta perlindungan penduduk maka perlu pengetahuan mengenai karakteristik gelombang yang terjadi di pantai tersebut.

Dalam penelitian ini dilakukan pendekatan teori dan analisis transformasi gelombang yang terjadi di kawasan pantai Bulu Rerer. Peramalan gelombang dihitung dengan metode hindcasting gelombang berdasarkan data angin selama 10 tahun dari stasiun BMG Winangun Stasiun Tondano untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang signifikan.

Dari hasil perhitungan, gelombang di perairan Bulu Rerer didominasi oleh gelombang arah Selatan dengan gelombang maksimum terjadi pada bulan Agustus 2005 dengan $H = 1,56m$ dan $T = 5,12det$. Koefisien refraksi yang terjadi berkisar antara 0,8181 sampai 1,0087 dan koefisien shoaling yang terjadi berkisar pada 0,9003 sampai 5,143. Tinggi gelombang yang didapat dari hasil perhitungan berkisar pada 0,24m sampai 1,83m pada kedalaman 0,5m sampai 25,0m.

Kata kunci: Pantai Bulu Rerer, karakteristik gelombang, refraksi, shoaling, gelombang pecah.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Keindahan pantai Bulu merupakan daya tarik tersendiri untuk daerah ini, airnya terlihat bersih sehingga disepanjang pantai Bulu bisa digunakan sebagai daerah wisata bahari yang sangat potensial. Namun demikian pada saat musim gelombang daerah ini cukup potensial mendapatkan gempuran gelombang yang dapat mengakibatkan kerugian bagi masyarakat dan kerusakan terhadap fasilitas yang berada di daerah tersebut.

Pantai Bulu berada di desa Rerer dalam wilayah administrasi Kecamatan Kombi Kabupaten Minahasa dengan batas-batas wilayah sebagai berikut :

Selatan : Desa Kolongan

Utara : Desa Kalawiran

Barat : Pegunungan

Timur : Laut

Pantai yang sangat berpotensi sebagai daerah wisata ini, berdasarkan pengamatan di lapangan ternyata telah mengalami perubahan fisik (kerusakan) pada daerah pesisir pantai. Kerusakan ini diakibatkan oleh proses dinamika pantai seperti abrasi yang berdampak buruk serta

menimbulkan kekhawatiran bagi warga pesisir pantai tersebut. Oleh sebab itu dalam pengembangan dan pengamanan daerah pesisir serta perlindungan penduduk maka perlu mengetahui karakteristik gelombang yang terjadi di pantai tersebut. Berdasarkan hal tersebut penulis berkeinginan untuk menentukan karakteristik gelombang yang ada di pantai Bulu.

Perumusan Masalah

Berdasarkan pengamatan di pantai Bulu terlihat bahwa telah terjadi kerusakan pada pantai. Karakteristik gelombang di pantai merupakan faktor yang sangat penting dalam mengembangkan atau melindungi suatu daerah pantai. Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu diketahui karakteristik dari gelombang guna pengembangan dan perlindungan khususnya pada daerah pantai Bulu.

Pembatasan Masalah

1. Karakteristik gelombang yang ditinjau adalah tinggi gelombang, periode gelombang, refraksi gelombang, shoaling dan gelombang pecah.
2. Analisa gelombang yang digunakan adalah teori gelombang amplitudo kecil (Airy).

3. Tinggi dan periode gelombang laut dalam diperoleh dengan metode *hindcasting*.
4. Gelombang yang dihitung adalah gelombang yang diakibatkan oleh angin.
5. Data angin yang dipakai adalah data angin 10 tahun terakhir.
6. Mengabaikan faktor-faktor bencana alam tertentu seperti tsunami dan lain-lain.

Tujuan Penelitian

Studi ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik gelombang di daerah pantai Bulu.

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain :

1. Memperoleh pengetahuan mengenai teknik pantai khususnya dalam mempelajari karakteristik gelombang yang sering terjadi.
2. Sebagai informasi *data base* karakteristik gelombang di pantai Bulu.

LANDASAN TEORI

Gelombang

Gelombang laut tercipta karena adanya transfer energi dari angin ke permukaan laut. Energi yang ditransferkan ini akan bergerak melintasi permukaan laut, dimana air laut sendiri bergerak dalam gerakan membundar (*circular motion*) di bawah permukaan laut (Kusumastuti, 2011). Gelombang juga dapat diakibatkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi yang disebut gelombang pasang surut. Sedangkan gaya

seismik yang berupa gempa tektonik dan vulkanik akan menimbulkan tsunami yang jarang terjadi.

Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transport sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai. Gelombang merupakan faktor utama didalam penentuan tata letak pelabuhan, alur pelayaran, perencanaan bangunan pantai dan sebagainya.

Teori Gelombang Airy

Anggapan-anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut:

- Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa adalah konstan.
- Tegangan permukaan diabaikan.
- Gaya Coriolis (akibat perputaran bumi) diabaikan.
- Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
- Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak rotasi.
- Dasar laut adalah horizontal, tetap dan impermeable sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.
- Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
- Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjarangan gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

Tabel 1. Klasifikasi dan Rangkuman Gelombang Menurut Teori Gelombang Kecil (Airy)

Keterangan	Gelombang Di Laut Dangkal	Gelombang Di Laut Transisi	Gelombang Di Laut Dalam
$\frac{d}{L}$	$\frac{d}{L} \geq \frac{1}{2}$	$\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$	$\frac{d}{L} \leq \frac{1}{20}$
$\tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$\approx \left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$\tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	≈ 1
Cepat Rambat Gelombang	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$C = C_0 = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
Panjang Gelombang	$L = T\sqrt{gd}$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left[\frac{2\pi d}{L}\right]$	$L = L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1.56T^2$

Hindcasting Gelombang

Hindcasting gelombang adalah teknik peramalan gelombang yang akan datang dengan menggunakan data angin dimasa lampau. *Hindcasting* gelombang akan menghasilkan perkiraan tinggi (H) dan perioda (T) gelombang akibat adanya angin dengan besar, arah, dan durasi tertentu.

Fetch

Fetch adalah daerah pembangkit gelombang laut yang dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut tersebut. Daerah *fetch* adalah daerah dengan kecepatan angin konstan. Sedangkan jarak *fetch* merupakan jarak tanpa rintangan dimana angin sedang bertiup (Hutabarat dan Evans, 1984) Arah *fetch* bisa datang dari segala arah, yang besarnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$F_{eff} = \frac{\sum F \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

F_{eff} : *Fetch* efektif

F : Panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*.

α : Deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

Estimasi Angin Permukaan untuk Peramalan Gelombang

Sebagai langkah awal dalam menganalisis data angin, hal yang harus diperhatikan adalah mendapatkan nilai *Wind Stress Factor* (U_A), sebagai nilai yang akan digunakan dalam melakukan peramalan gelombang. Prosedur untuk mendapatkan *Wind Stress Factor* (U_A) adalah dengan melakukan koreksi-koreksi terhadap data angin yang kita miliki sebagai berikut:

Koreksi Elevasi

Kecepatan angin yang digunakan adalah kecepatan angin yang diukur pada elevasi 10 meter. Jika data angin didapat dari pengukuran pada elevasi yang lain (misalnya y meter), maka dapat dikonversi dengan persamaan :

$$U_{(10)} = U(y) \left(\frac{10}{y} \right)^{\frac{1}{7}} \dots\dots\dots (2)$$

dimana: $U_{(10)}$ = Kecepatan angin pada ketinggian 10 m.

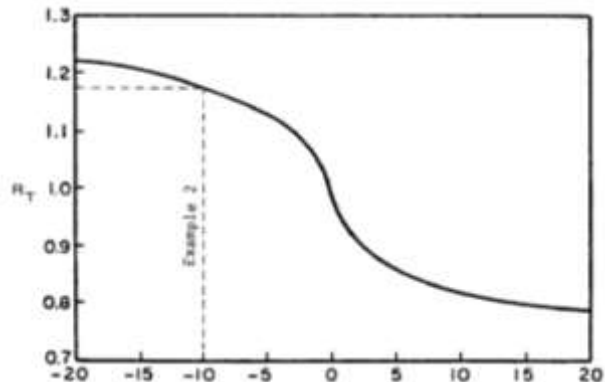
y = Ketinggian pengukuran angin ($y < 20$ m)

Koreksi Stabilitas

Koreksi ini diperlukan, jika terdapat perbedaan temperatur antara udara dan air laut. Besarnya koreksi dilambangkan dengan R_T , dimana :

$$U = R_T \times U_{10} \dots\dots\dots (3)$$

Jika tidak terdapat perbedaan data temperature, maka $R_T = 1.1$ (SPM'88, hal 3-30)



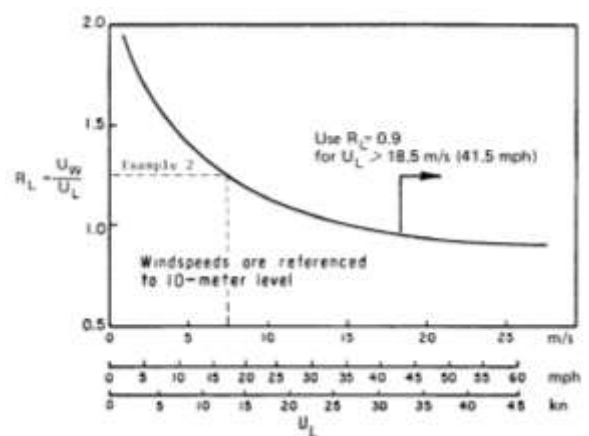
Gambar 1. Faktor koreksi beda suhu di laut dan di darat.

Sumber : SPM' 84

Koreksi Lokasi Pengamatan

Jika data angin yang dimiliki adalah data angin pengukuran di darat, perlu dilakukan koreksi untuk mendapatkan nilai kecepatan di laut. Faktor koreksi dilambangkan dengan R_L , yang nilainya disajikan Gambar 2. Di dalam gambar tersebut, U_w adalah kecepatan angin di atas laut, sedangkan U_L adalah kecepatan angin di darat. Apabila data kecepatan angin disuatu perairan memerlukan penyesuaian atau koreksi terhadap elevasi, koreksi stabilitas dan efek lokasi maka dapat digunakan persamaan:

$$U = R_T \times R_L \times U_{10} \dots\dots\dots (4)$$



Gambar 2. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan di darat

Sumber : SPM'84

Pembentukan Gelombang di Laut Dalam

Peramalan gelombang di laut dalam dilakukan dengan metode SMB (*Sverdrup Munk Bretschneider*).

- Penentuan *fetch limited* dari gelombang berguna untuk membatasi durasi minimum dari t_{fetch} .

Open Water

$$t_{fetch} = 68.8 \frac{F^{\frac{2}{3}}}{g^{\frac{1}{3}} U_A^3} \dots\dots\dots (5)$$

Restricted Fetch

$$t_{fetch} = 51.09 \frac{F^{0.72}}{g^{0.28} \hat{U}_A^{0.44}} \dots\dots\dots (6)$$

- Karakter pembentukan gelombang untuk *open water*

Duration Limited

$$H = 0.0000851 \left(\frac{U_A^2}{g} \right) \left(\frac{gt_i}{U_A} \right)^{\frac{5}{7}} \dots\dots\dots (7)$$

$$T = 0.072 \left(\frac{U_A}{g} \right) \left(\frac{gt_i}{U_A} \right)^{0.411} \dots\dots\dots (8)$$

Fetch Limited

$$H = 0.0016 \left(\frac{U_A^2}{g} \right) \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (9)$$

$$T = 0.2857 \left(\frac{U_A}{g} \right) \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (10)$$

- Karakter pembentukan gelombang untuk *restricted fetch*

Duration Limited

$$H = 0.000103 \left(\frac{\hat{U}_A^2}{g} \right) \left(\frac{gt_i}{U_A} \right)^{0.69} \dots\dots\dots (11)$$

$$T = 0.082 \left(\frac{\hat{U}_A}{g} \right) \left(\frac{gt_i}{U_A} \right)^{0.39} \dots\dots\dots (12)$$

Fetch Limited

$$H = 0.0015 \left(\frac{\hat{U}_A^2}{g} \right) \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (13)$$

$$T = 0.3704 \left(\frac{\hat{U}_A}{g} \right) \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{0.28} \dots\dots\dots (14)$$

Setelah mendapatkan nilai H dan T, cek kondisi pembangkitan gelombang.

Kondisi gelombang *fully developed* apabila memenuhi ketentuan – ketentuan berikut ini :

$$\frac{gH}{U_A^2} \geq 2.433 \cdot 10^{-4} \dots\dots\dots (15)$$

$$\frac{gT}{U_A} \geq 8.134 \dots\dots\dots (16)$$

$$\frac{gT}{U_A} \geq 7.15 \cdot 10^4 \dots\dots\dots (17)$$

- Apabila kondisi *fully developed*
Open water

$$H_{fd} = 0.2433 \left(\frac{U_{(10)}^2}{g} \right) \dots\dots\dots (18)$$

$$T_{fd} = 8.134 \left(\frac{U_{(10)}}{g} \right) \dots\dots\dots (19)$$

Restricted fetch

$$H_{fd} = 0.2433 \left(\frac{\hat{U}_{10}^2}{g} \right) \dots\dots\dots (20)$$

$$T_{fd} = 8.134 \left(\frac{\hat{U}_{(10)}}{g} \right) \dots\dots\dots (21)$$

Sehingga :

$$H_o = H_{fd} \dots\dots\dots (22)$$

$$T_o = T_{fd} \dots\dots\dots (23)$$

- Apabila kondisi gelombang *non fully developed* maka :

$$H_o = H \dots\dots\dots (24)$$

$$T_o = T \dots\dots\dots (25)$$

Deformasi Gelombang

Proses Refraksi

Pengaruh perubahan kedalaman laut akan menyebabkan refraksi. Di laut dalam, daerah dimana kedalaman air lebih besar dari setengah panjang gelombang, gelombang menjalar tanpa dipengaruhi dasar laut.

Koefisien refraksi adalah :

$$Kr = \sqrt{\frac{b_o}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}} \dots\dots\dots (26)$$

Pendangkalan Gelombang (Wave Shoaling)

Koefisien pendangkalan K_s merupakan fungsi panjang gelombang dan kedalaman air.

$$K_s = \sqrt{\frac{n_o \times C_o}{n_1 \times L_1}} \quad \dots\dots\dots (27)$$

Proses Pecahnya Gelombang

Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi tiga tipe berikut ini:

- 1) *Spilling*
Biasanya terjadi apabila gelombang dengan kemiringan kecil menuju ke pantai yang datar (kemiringan kecil)
- 2) *Plunging*
Apabila kemiringan gelombang dan dasar bertambah, gelombang akan pecah dan pucuk gelombang akan memutar dengan massa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan.
- 3) *Surging*
Terjadi pada pantai dengan kemiringan yang sangat besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang. Daerah gelombang pecah sangat sempit, dan sebagian besar energi dipantulkan kembali ke laut dalam.

METODOLOGI PENELITIAN

Data dan Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Data primer diperoleh langsung dari lapangan, sedangkan data sekunder diperoleh dari instansi-instansi terkait.

Tahapan pelaksanaan penelitian secara singkat diperlihatkan pada Gambar 3.

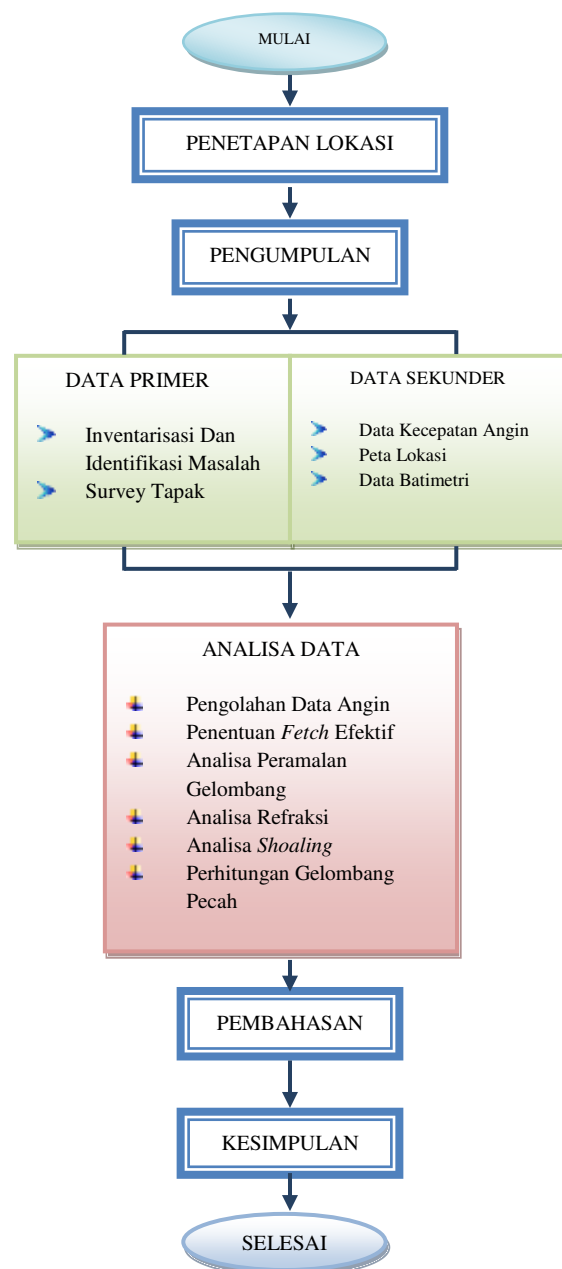
ANALISA DAN PEMBAHASAN

Analisa Data

Perhitungan Fetch Efektif

Langkah-langkah perhitungan *fetch* dengan cara manual dijelaskan dibawah ini :

1. Menggunakan peta daerah perairan pantai Bulu Kecamatan Kombi Kabupaten Minahasa dan ditentukan arah angin sebagai titik pusat tinjauan. Garis arah angin utama ditentukan sebagai *central radial*.
2. Dalam perhitungan ini dibuat sudut dari garis *central radial* ke araha kiri dan kanan garis *fetch* dengan interval 5° sampai 20° .



Gambar 3. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

3. Pastikan bahwa koordinat lokasi sama dengan koordinat pada peta.
4. Dalam perhitungan ini dibuat sudut dari garis *central radial* ke araha kiri dan kanan garis *fetch* dengan interval 5° sampai 20° .
5. Pastikan bahwa koordinat lokasi sama dengan koordinat pada peta.
6. Ukur *fetch* sampai menyentuh daratan atau batas akhir peta, dengan menggunakan mistar dan tentukan jarak sebenarnya.

Dari hasil penggambaran hanya arah Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, dan Selatan yang mempunyai panjang *fetch*.

Tabel 2. Perhitungan Panjang *Fetch* untuk Delapan Arah Mata Angin

Arah	Sudut (α)	F (mil)	F (km)	Cos (α)	Fcos (α)	Feff (km)
Utara	-20	0	0.00	0.940	0	2.362
	-25	0	0.00	0.966	0	
	-10	0	0.00	0.985	0	
	-5	0	0.00	0.996	0	
	0	0	0.00	1.000	0	
	5	0	0.00	0.996	0	
	10	0	0.00	0.985	0	
	15	0	0.00	0.966	0	
Timur Laut	-20	17.2	27.68	0.940	26.02	50.748
	-25	18.1	29.13	0.966	28.14	
	-10	15.3	24.62	0.985	24.25	
	-5	17.6	28.32	0.996	28.21	
	0	19.6	31.54	1.000	31.54	
	5	0	0.00	0.996	0.00	
	10	0	0.00	0.985	0.00	
	15	0	0.00	0.966	0.00	
Timur	-20	203	326.70	0.940	307.10	267.649
	-25	201	323.48	0.940	304.07	
	-10	173	278.42	0.985	274.24	
	-5	171	275.20	0.996	274.10	
	0	113	181.20	1.000	181.20	
	5	166	267.15	0.996	266.08	
	10	156	251.06	0.985	247.29	
	15	164	263.93	0.966	254.96	
Tenggara	-20	168	270.37	0.940	254.15	375.125
	-25	178	286.46	0.940	269.28	
	-10	171	275.20	0.966	265.84	
	-5	170	273.59	0.985	269.48	
	0	181	291.29	0.996	290.13	
	5	231	371.76	1.000	371.76	
	10	236	379.81	0.996	378.29	
	15	344	553.61	0.985	545.31	
Selatan	-20	15	23.77	0.966	23.00	294.437
	-25	353	568.10	0.966	548.78	
	-10	20	33.77	0.940	31.75	
	-5	233	374.98	0.940	352.48	
	0	219	352.45	0.940	331.30	
	5	213	342.79	0.966	331.14	
	10	209	336.35	0.985	331.31	
	15	201	323.48	0.996	322.18	
Barat Daya	-20	0	0.00	0.940	0.00	0
	-25	0	0.00	0.966	0.00	
	-10	0	0.00	0.985	0.00	
	-5	0	0.00	0.996	0.00	
	0	0	0.00	1.000	0.00	
	5	0	0.00	0.996	0.00	
	10	0	0.00	0.985	0.00	
	15	0	0.00	0.966	0.00	

Barat	-20	0	0	0.940	0.00	0
	-25	0	0	0.966	0.00	
	-10	0	0	0.985	0.00	
	-5	0	0	0.996	0.00	
	0	0	0	1.000	0.00	
	5	0	0	0.996	0.00	
	10	0	0	0.985	0.00	
	15	0	0	0.966	0.00	
Barat Laut	-20	0	0	0.940	0.00	0
	-25	0	0	0.966	0.00	
	-10	0	0	0.985	0.00	
	-5	0	0	0.996	0.00	
	0	0	0	1.000	0.00	
	5	0	0	0.996	0.00	
	10	0	0	0.985	0.00	
	15	0	0	0.966	0.00	

Perhitungan *Fetch* :

Arah Timur :

- Panjang garis *fetch* untuk sudut 0° adalah 1.51 cm dengan skala 1: 12.000.000.
Untuk mendapatkan jarak sebenarnya maka dilakukan perhitungan jarak sebenarnya.
Jarak sebenarnya = Jarak pada peta \times Skala

$$= 1.51 \text{ cm} \times 12.000.000$$

$$= 18120000 \text{ cm}$$

$$= 181.2 \text{ km}$$

Nilai dari cosines 0° adalah 1, maka :

$$F \cos (\alpha) = 181.2 \times 1$$

$$= 181.2 \text{ km}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dilakukan dengan program Microsoft Encarta.

Gambar 4. Fetch Arah Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Dan Selatan
Sumber : Microsoft EncartaDengan mengetahui panjang *fetch* didapat Feff:

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum F \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

$$= 267.649 \text{ km}$$

Analisa Angin

Data angin yang dianalisa adalah data kecepatan dan arah angin maksimum harian dalam selang waktu 10 tahun terakhir, yakni tahun 2003 – 2013. Data angin diperoleh dari Stasiun Geofisika Manado di Tondano dari BMG Winangun. Arah angin diklasifikasikan dalam delapan arah mata angin.

Kecepatan angin diukur dengan anemometer dan dinyatakan dalam knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui katulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau 1 knot = 1.852 km/jam = 0.515 m/d.

Tabel 3. Data Kecepatan dan Arah Angin Pada Tahun 2013

Januari		Februari		Maret		April	
kec (m/det)	Arah	kec (m/det)	Arah	kec (m/det)	Arah	kec (m/det)	Arah
0.7	U	0.5	U	1.6	U	0.5	U
1.7	U	1.3	U	1.5	U	0.6	B
2.0	B	0.4	U	2.1	U	0.1	U
2.3	B	0.8	U	1.9	U	0.6	S
2.0	U	0.5	U	2.6	U	0.5	S
2.3	B	0.8	U	1.7	U	0.3	U
4.2	B	0.2	U	1.4	B	0.1	U
3.5	U	0.6	U	1.4	B	0.2	U
4.0	U	1.3	U	1.6	B	1.1	B
3.2	B	0.6	U	1.1	B	0.6	U
2.3	B	1.9	U	0.4	U	0.7	U
0.7	BL	0.6	U	0.8	U	1.0	U
1.1	B	0.7	U	0.9	U	0.7	U
1.4	B	0.6	U	0.8	U	1.2	U
2.4	B	0.9	U	1.0	U	0.6	B
2.2	B	1.3	U	1.2	U	0.7	U
1.7	B	0.8	U	0.2	U	0.1	TENG
1.8	U	3.5	B	0.3	U	0.2	U
1.3	U	2.5	B	0.5	U	0.6	S
0.8	U	1.0	B	0.6	U	0.7	S
0.7	B	1.9	B	0.8	U	0.4	S
0.9	U	0.8	B	0.5	U	0.1	S
1.3	U	1.5	U	0.5	U	0.1	U
1.3	B	0.6	U	0.1	U	0.2	S
1.1	B	1.4	U	0.5	U	0.7	B
1.7	B	2.3	U	0.7	U	0.6	U
1.5	B	1.4	U	1.2	U	0.3	S
3.2	B	1.4	U	0.6	U	0.2	S
2.4	B			1.0	U	0.2	S
1.2	B			0.9	U	0.8	S
0.8	U			0.8	U		

Tabel 3. Lanjutan

Mei		Juni		Juli		Agustus	
kec (m/det)	Arah	kec (m/det)	Arah	kec (m/det)	Arah	kec (m/det)	Arah
0.6	S	0.6	U	0.3	U	1.5	S
0.4	S	0.1	U	0.5	S	0.5	S
0.6	S	0.4	U	0.5	S	0.6	BL
0.5	TGR	0.8	U	0.5	S	1.1	B
0.6	T	1.0	U	0.3	S	2.5	S
0.7	S	0.3	U	0.5	S	1.8	S
0.7	TGR	0.3	S	0.5	U	0.3	S
0.7	U	0.8	S	0.4	U	0.9	S
0.2	U	0.3	BD	0.8	S	3.5	S
0.4	U	0.3	U	0.3	U	2.0	S
0.5	S	0.1	S	0.5	B	1.6	S
0.4	U	0.3	U	0.5	U	1.5	S
0.8	U	1.3	B	0.5	S	0.5	S
0.6	U	0.5	B	0.4	S	1.0	S
0.8	U	0.5	B	0.3	U	1.1	S
0.6	S	0.6	S	2.3	U	2.8	S
0.5	S	0.7	S	1.0	U	3.2	S
0.5	S	0.6	S	0.7	U	2.8	S
0.1	S	0.5	S	1.2	U	2.1	S
0.7	U	0.1	S	1.4	B	2.8	S
0.3	TGR	0.5	S	1.3	S	1.4	S
0.9	U	0.5	U	1.9	S	1.3	S
0.3	U	0.4	S	1.3	S	0.8	S
0.5	U	0.7	U	0.7	S	1.2	S
0.4	U	0.3	U	0.9	S	2.6	S
0.5	U	0.7	B	0.8	B	2.8	S
0.3	U	0.7	U	2.5	S	2.3	S
0.4	U	1.2	B	1.3	B	1.9	S
0.6	B	0.8	S	1.3	BD	0.8	S
0.5	B	0.4	S	1.6	B	1.1	S
0.3	U			2.6	BD	1.0	S

Tabel 3. Lanjutan

September		Oktober		November		Desember	
kec (m/det)	Arah	kec (m/det)	Arah	kec (m/det)	Arah	kec (m/det)	Arah
1.0	TG	2.2	S	0.9	U	0.4	U
0.6	S	1.9	S	0.8	U	0.4	TG

1.3	S	1.0	U	0.6	TL	0.5	T
1.4	S	0.7	B	0.6	BD	0.3	U
1.9	S	0.8	S	0.6	S	0.5	B
2.0	S	1.1	S	1.0	U	0.3	B
1.9	S	1.5	S	1.5	B	0.7	U
1.9	S	1.0	S	2.6	BD	0.7	U
1.0	S	0.9	U	0.4	BD	0.8	U
1.1	S	1.7	B	2.1	U	0.6	U
1.1	S	1.9	S	0.9	S	0.6	U
1.1	S	2.5	S	0.8	S	0.6	U
0.9	S	1.1	S	0.8	S	0.7	U
1.4	BD	0.6	S	0.9	U	0.8	U
0.9	BD	0.7	S	1.1	U	0.7	U
1.2	S	0.6	U	0.5	S	1.4	B
1.2	BD	0.4	U	0.5	U	1.4	U
1.4	S	0.8	S	0.9	U	1.3	B
2.3	BD	0.9	S	2.0	U	1.0	B
1.9	BD	0.4	U	1.1	U	1.9	B
1.9	S	0.6	S	0.6	TG	1.6	U
1.1	S	1.4	B	0.8	U	1.0	U
1.8	S	0.9	B	0.7	S	0.9	U
2.4	S	0.7	B	0.8	U	1.8	B
3.2	S	1.1	S	0.6	U	1.9	B
0.9	S	0.6	U	0.8	U	2.9	B
1.0	S	0.2	U	1.0	B	3.2	B
0.6	U	0.3	S	1.1	U	0.9	B
1.3	S	1.9	B	0.3	U	0.5	U
1.7	S	2.1	B	0.6	BD	0.9	U
		0.9	B			0.7	U

Perhitungan Faktor Tegangan Angin

Perhitungan Faktor Tekanan Angin Pada Bulan September 2013 dapat dilihat di tabel berikut :

Tabel 4. Perhitungan *Hindcasting* Gelombang Maksimum Bulan September 2013

Tanggal	Arah	U _z m/d	U ₁₀ m/d	R _L	U _A m/d	F _{FF} km	t _i d	Open Water/ Restricted Fetch
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	TG	1.0	0.91	1.95	1.95	375.125	21600	Open Water
2	S	0.6	0.55	2.00	1.22	294.437	21600	Open Water
3	S	1.3	1.16	1.88	2.41	294.437	21600	Open Water
4	S	1.4	1.25	1.86	2.55	294.437	21600	Open Water
5	S	1.9	1.76	1.74	3.36	294.437	21600	Open Water
6	S	2.0	1.86	1.73	3.53	294.437	21600	Open Water
7	S	1.9	1.72	1.74	3.29	294.437	21600	Open Water
8	S	1.9	1.78	1.74	3.40	294.437	21600	Open Water
9	S	1.0	0.95	1.95	2.03	294.437	21600	Open Water
10	S	1.1	0.98	1.94	2.10	294.437	21600	Open Water
11	S	1.1	1.05	1.94	2.23	294.437	21600	Open Water
12	S	1.1	1.05	1.94	2.23	294.437	21600	Open Water
13	S	0.9	0.85	2.00	1.86	294.437	21600	Open Water
14	BD	1.4	1.32	1.86	2.70	0.000	21600	-
15	BD	0.9	0.79	2.00	1.74	0.000	21600	-
16	S	1.2	1.10	1.93	2.34	294.437	21600	Open Water
17	BD	1.2	1.15	1.93	2.43	0.000	21600	-
18	S	1.4	1.25	1.86	2.55	294.437	21600	Open Water
19	BD	2.3	2.11	1.70	3.95	0.000	21600	-
20	BD	1.9	1.74	1.74	3.33	0.000	21600	-
21	S	1.9	1.76	1.74	3.36	294.437	21600	Open Water
22	S	1.1	1.01	1.94	2.15	294.437	21600	Open Water
23	S	1.8	1.64	1.80	3.24	294.437	21600	Open Water
24	S	2.4	2.17	1.69	4.03	294.437	21600	Open Water
25	S	3.2	2.90	1.59	5.08	294.437	21600	Open Water
26	S	0.9	0.87	2.00	1.91	294.437	21600	Open Water
27	S	1.0	0.95	1.95	2.03	294.437	21600	Open Water
28	U	0.6	0.59	2.00	1.30	2.362	21600	Open Water
29	S	1.3	1.16	1.88	2.41	294.437	21600	Open Water
30	S	1.7	1.58	1.82	3.16	294.437	21600	Open Water

Tabel 4. Lanjutan

t_{FETCH}	Kondisi	H_0 (1)	T_0 (1)	$\frac{gH}{U^2_s}$
d	Gelombang	m	d	
[10]	[11]	[12]	[13]	[14]
134510.8078	Duration Limited	0.130	1.639	0.336
133835.7324	Duration Limited	0.071	1.243	0.469
106670.6658	Duration Limited	0.171	1.856	0.289
104695.4687	Duration Limited	0.183	1.918	0.277
95458.9271	Duration Limited	0.262	2.259	0.227
93904.7039	Duration Limited	0.279	2.325	0.220
96154.3983	Duration Limited	0.255	2.230	0.231
95118.6436	Duration Limited	0.266	2.273	0.226
112900.6510	Duration Limited	0.137	1.679	0.326
111626.6506	Duration Limited	0.143	1.713	0.318
109395.7266	Duration Limited	0.155	1.775	0.305
109395.7266	Duration Limited	0.155	1.775	0.305
116165.6996	Duration Limited	0.123	1.596	0.346
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
107671.5226	Duration Limited	0.165	1.826	0.294
-	-	-	-	-
104695.4687	Duration Limited	0.183	1.918	0.277
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
95458.9271	Duration Limited	0.262	2.259	0.227
110747.1545	Duration Limited	0.148	1.737	0.313
96605.7275	Duration Limited	0.250	2.212	0.233
89860.0143	Duration Limited	0.331	2.514	0.200
83220.7029	Duration Limited	0.445	2.879	0.169
115313.9261	Duration Limited	0.126	1.617	0.341
112900.6510	Duration Limited	0.137	1.679	0.326
5238.0130	Fetch Limited	0.007	0.904	0.038
106670.6658	Duration Limited	0.171	1.856	0.289
97486.2261	Duration Limited	0.242	2.176	0.238

Tabel 4. Lanjutan

$\frac{gT}{U_s}$	$\frac{gT_i}{U_A}$	Fully/Non fully	H_0	T_0
[15]	[16]	Developed	m	d
8.245	108665.3	Fully Developed	0.0205	0.7538
10.001	173864.5	Fully Developed	0.0076	0.4593
7.559	87969.85	Non Fully Developed	0.1706	1.8560
7.387	83168.36	Non Fully Developed	0.1834	1.9184
6.591	63023.66	Non Fully Developed	0.2620	2.2588
6.459	59992.18	Non Fully Developed	0.2792	2.3254
6.650	64412.62	Non Fully Developed	0.2548	2.2300
6.562	62351.41	Non Fully Developed	0.2657	2.2731
8.107	104318.7	Non Fully Developed	0.1371	1.6787
7.995	100823.5	Non Fully Developed	0.1432	1.7127
7.798	94892.7	Non Fully Developed	0.1548	1.7750
7.798	94892.7	Non Fully Developed	0.1548	1.7750
8.398	113643.3	Fully Developed	0.0178	0.7027
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
7.647	90471.87	Non Fully Developed	0.1646	1.8256
-	-	-	-	-
7.387	83168.36	Non Fully Developed	0.1834	1.9184
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
6.591	63023.66	Non Fully Developed	0.2620	2.2588
7.917	98456.75	Non Fully Developed	0.1476	1.7369
6.689	65324.82	Non Fully Developed	0.2502	2.2116
6.117	52562.33	Non Fully Developed	0.3309	2.5137
5.564	41741.61	Non Fully Developed	0.4451	2.8792
8.322	111159.3	Fully Developed	0.0186	0.7184
8.107	104318.7	Fully Developed	0.0222	0.7852
6.811	162737.2	Non Fully Developed	0.0066	0.9040
7.559	87969.85	Non Fully Developed	0.1706	1.8560
6.764	67129.16	Non Fully Developed	0.2416	2.1764

Hindcasting gelombang dilakukan untuk setiap data angin maksimum harian selama 11 tahun. Dari hasil hindcasting ini disusun rekapitulasi tinggi, periode dan arah gelombang terbesar dan dominan bulanan dari tahun 2003

s/d 2013. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan data maksimum dan dominan dari setiap arah sebagai acuan gelombang rencana.

Tabel 5. Tabel rekapitulasi arah, tinggi dan periode gelombang dari masing-masing fetch berdasarkan Hindcasting Gelombang tahun 2003–2013.

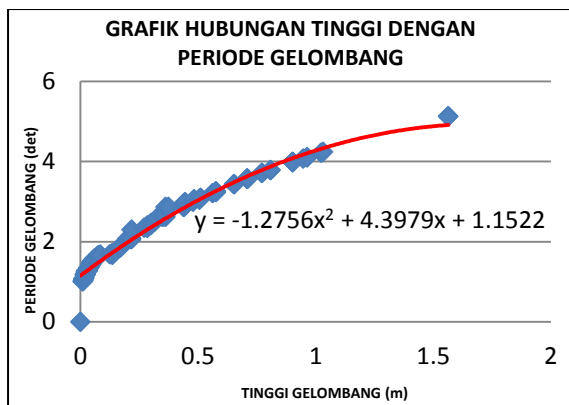
No.	Bulan	H&T	Arah Datang Gelombang					Max Tiap Bulan	
			U	TL	T	TG	S	Arah Dominan	H-T
1	Januari	H (m)	0.0843	0.8621	0.5067	0.0000	0.1371	TL	0.8621
		T (det)	1.7115	1.6787	3.0553	0.0000	1.6787		3.0553
		H (m)	0.0774	0.0000	0.2157	0.0132	0.5766		0.5766
2	Februari	T (det)	1.6748	0.0000	2.0665	0.0132	3.2416	S	3.2416
		H (m)	0.0717	0.0500	0.2157	0.0036	0.5766		0.5766
		T (det)	1.6432	1.1778	2.0665	0.3141	3.2416		3.2416
3	Maret	H (m)	0.0254	0.0076	0.0076	0.0117	0.2157	S	0.2157
		T (det)	1.2677	0.4593	0.4593	0.5693	2.0665		2.0665
		H (m)	0.0254	0.0045	0.2157	0.1371	1.0324		1.0324
4	April	T (det)	1.2677	0.3533	2.0665	0.1371	4.2329	S	4.2329
		H (m)	0.0327	0.0000	0.1371	0.0000	0.9643		0.9643
		T (det)	1.3497	0.0000	1.6787	0.0000	4.1025	S	4.1025
5	Mei	H (m)	0.0284	0.0000	0.0036	0.3167	1.0236		1.0236
		T (det)	1.3036	0.0000	0.3141	2.4636	4.2162		4.2162
		H (m)	0.0049	0.0000	0.0222	0.0000	1.5642	S	1.5642
6	Juni	T (det)	0.8391	0.0000	0.7852	0.0000	5.1200		5.1200
		H (m)	0.0066	0.0065	0.1335	0.1548	0.9033		0.9033
		T (det)	0.9040	0.4240	1.6589	1.7750	3.9817	S	3.9817
7	Juli	H (m)	0.8734	0.0000	0.1542	0.1742	0.7091		0.8734
		T (det)	2.0760	0.0000	1.7720	1.8737	3.5638	U	3.5638
		H (m)	0.1371	0.0070	0.0170	0.0132	0.3620		0.3620
8	Agustus	T (det)	1.6787	0.4417	0.6870	0.6046	2.6192	S	2.6192
		H (m)	0.0656	0.0000	0.1371	0.0036	0.4400		0.4400
		T (det)	1.6072	0.0000	1.6787	0.0036	2.8641	S	2.8641
9	September	H (m)	0.8734	0.8621	0.5067	0.3167	1.5642		1.5642
		T (det)	2.0760	1.6787	3.0553	2.4636	5.1200		5.1200
		T (det)	2.0760	1.6787	3.0553	2.4636	5.1200	S	5.1200

Dari tabel rekapitulasi di atas dapat diketahui bahwa gelombang dominan dan maksimum terjadi berasal dari arah selatan. Hal ini disebabkan gelombang dari arah selatan mempunyai daerah pembangkitan gelombang yang lebih besar.

Analisa Transformasi Gelombang

Langkah–langkah perhitungan untuk mendapatkan koefisien refraksi :

- Tentukan sudut datang gelombang (α)
Sudut datang gelombang (α) = 45°
- Tentukan kedalaman (d), untuk mengetahui perubahan tinggi gelombang akibat pendangkalan.
- Kedalaman diambil mulai dari -25 m sampai -0.1 m
- Tentukan tinggi dan periode gelombang rencana (yang paling maksimum dari arah tinjauan)



Gambar 5 Hubungan Tinggi dengan Periode Gelombang

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan grafik hubungan H dan T didapat persamaan :

$$y = -1.275x^2 + 4.937x + 1.152$$

Untuk arah Selatan Potongan 1 :

$$H_o = 1.5642$$

$$T_o = 4.9102$$

- Hitung panjang gelombang laut dalam dengan rumus :

$$L_o = 1.56T_o^2,$$

dimana :

L_o = Panjang gelombang laut dalam

T = Periode gelombang laut dalam

$$L_o = 37.6118 \text{ m}$$

- Hitung nilai α

$$d/L_o = 25/37.6118$$

$$= 0.66$$

Cari nilai d/L untuk nilai $d/L_o = 0.66$

Tabel 6. Pembacaan Nilai d/L dan n

$\frac{d}{L_o}$	$\frac{d}{L}$	$\frac{2nd}{L}$	$\frac{16nd}{2ndL}$	$\frac{16nd}{2ndL}$	$\frac{16nd}{2ndL}$	K_s	K	$\frac{4nd}{L}$	$\frac{16nd}{4ndL}$	$\frac{16nd}{4ndL}$	n
0.6000	0.6000	3.7734	0.9989	21.763	21.786	0.997	0.0459	7.5478	948.26	948.3	0.5048
0.6100	0.6100	3.8361	0.9991	22.166	22.188	0.997	0.0431	7.6726	1074.4	1074	0.5036
0.6200	0.6200	3.8988	0.9992	24.061	24.081	0.997	0.0405	7.7976	1217.3	1217	0.5032
0.6300	0.6300	3.9613	0.9993	26.253	26.272	0.998	0.0381	7.9226	1379.4	1379	0.5039
0.6400	0.6400	4.0238	0.9994	27.948	27.966	0.998	0.0358	8.0476	1563.2	1563	0.5026
0.6500	0.6500	4.0864	0.9994	29.254	29.270	0.998	0.0336	8.1728	1771.5	1772	0.5023
0.6600	0.6600	4.1490	0.9995	31.676	31.692	0.998	0.0316	8.2979	2007.8	2008	0.5021
0.6700	0.6700	4.2116	0.9996	33.724	33.739	0.998	0.0296	8.4232	2275.7	2276	0.5019

Sumber : Triatmodjo B., (1999)

Untuk $d/L_o = 0.6600$ (ditabel lihat yang diberikan lingkaran biru), didapat nilai $d/L_o = 0.66033$

$$\text{Maka } L = 37.8604$$

Cepat rambat gelombang :

$$C_o = L_o/T_o = 7.6599 \text{ m/det}$$

$$C = L/T = 7.7106 \text{ m/det}$$

$$\sin \alpha = \frac{C}{C_o} \times \sin \alpha$$

$$= 0.7118$$

$$\alpha = 45.3805^\circ$$

- Tentukan nilai koefisien Refraksi (K_r)

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha}}$$

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos 45}{\cos 45.3805}}$$

$$K_r = 1.0033$$

Analisis berikutnya dibuat pada tabel.

Tabel 7. Perhitungan Refraksi Untuk Potongan 1 Arah Selatan

L	Co	C	sin a	a	$\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha}$	Kr
37.8604	7.6599	7.7106	0.7118	45.3805	1.0067	1.0033
37.6414	7.6579	7.6680	0.7114	45.3492	0.9994	0.9997
37.0407	7.6481	7.5553	0.7028	44.6496	0.9879	0.9939
35.0398	7.6110	7.1820	0.6631	41.5414	0.9505	0.9749
28.5796	7.4684	5.9697	0.5301	32.0108	0.8827	0.9395
14.0154	7.1265	3.0680	0.2282	13.1913	0.8709	0.9332
12.4008	7.2194	2.6796	0.0845	4.8587	0.9771	0.9885

Tabel 7. Lanjutan

a_o	d	Ho	T	Lo	d/Lo	d/L
45	25	1.5642	4.9102	37.6118	0.66	0.66032
45.381	20	1.5610	4.9089	37.5916	0.53	0.53133
45.349	15	1.5465	4.9026	37.4955	0.40	0.40496
44.650	10	1.5002	4.8788	37.1329	0.27	0.28539
41.541	5	1.3751	4.7874	35.7546	0.14	0.17495
32.011	1	1.1823	4.5683	32.5559	0.03	0.07135
13.191	0.5	1.2272	4.6278	33.4097	0.01	0.04032

Perhitungan Koefisien *Shoaling*

Koefisien pendangkalan :

$$K_s = \sqrt{\frac{n_o L_o}{nL}}$$

dimana:

$$n_o = (\text{dilaut dalam}) 0.5 ; L_o = 37.6118 \text{ m}$$

Dari tabel perhitungan *shoaling* untuk nilai $d/L_o = 0.66033$, diperoleh nilai $n = 0.5021$

$$K_s = \sqrt{\frac{0.5 \times 37.6118}{0.5021 \times 37.8604}}$$

$$K_s = 0.9946$$

Setelah perhitungan koefisien refraksi dan *shoaling*, akan didapat nilai tinggi gelombang yang baru:

$$H = H_o \cdot K_r \cdot K_s \\ = 1,5610$$

Selanjutnya dapat dilihat dalam tabel dibawah ini:

Tabel 8. Perhitungan Shoaling Untuk Potongan 1 Arah Selatan

Lo	d/Lo	d/L	L	Kr	Ks	H
37.6118	0.66	0.66032	37.8604	1.0033	0.9946	1.5610
37.5916	0.53	0.53133	37.6414	0.9997	0.9910	1.5465
37.4955	0.40	0.40496	37.0407	0.9939	0.9759	1.5002
37.1329	0.27	0.28539	35.0398	0.9749	0.9402	1.3751
35.7546	0.14	0.17495	28.5796	0.9395	0.9151	1.1823
32.5559	0.03	0.07135	14.0154	0.9332	1.1123	1.2272
33.4097	0.01	0.04032	12.4008	0.9885	1.1729	1.4228

Perhitungan Gelombang Pecah

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan grafik yang tersedia yaitu grafik yang menyatakan hubungan antara $H'o/gT^2$.

➤ Tentukan nilai $H'o$ dan H_b

$$\begin{aligned} \text{Dik : } H_o &= 1.5642 \text{ m} \\ T_o &= 4.9102 \text{ detik} \\ H &= 1,5610 \text{ m} \\ K_s &= 0.9946 \\ d/L_o &= 0.66 \end{aligned}$$

maka

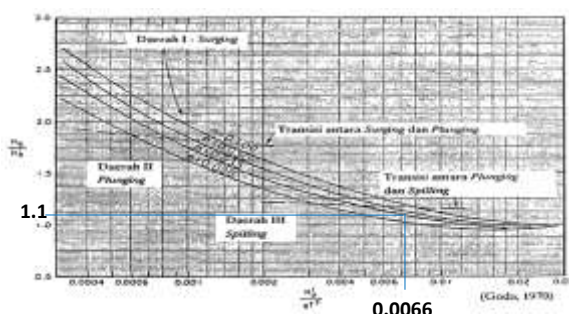
$$\begin{aligned} H'o &= H_o/K_s \\ &= 1.5726 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H'o/gT^2 &= 1.5726/9.81 \times 4.9102^2 \\ &= 0.0066 \end{aligned}$$

Nilai H_b didapat dari hasil plot antara nilai $H'o/gT^2$ dan kemiringan pantai (m) pada grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah, (Triatmodjo, 1999.)

Plot pada grafik untuk :

$$H'o/gT^2 = 0.0066 \text{ dan } m = 0.032$$



Gambar 6. Penentuan Tinggi Gelombang Pecah
Sumber : Triatmodjo B, (1996)

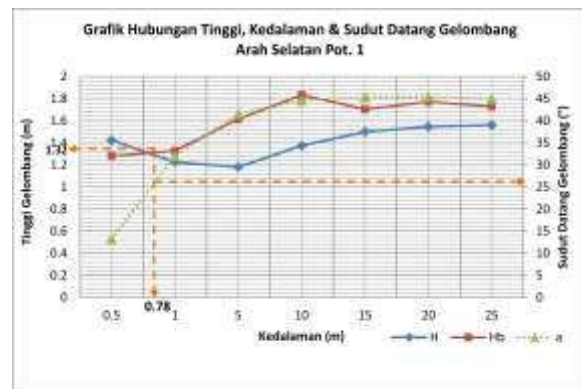
$$H_b/H'o = 1.1$$

$$\begin{aligned} H_b &= (H_b/H_o) \times H'o \\ &= 1.7299 \end{aligned}$$

Tabel 9. Perhitungan Gelombang Pecah Untuk Potongan 1 Arah

H'o	H'o/gT ²	m	Hb/H'o	Hb
1.5726	0.0066	0.032	1.100	1.7299
1.5751	0.0067	0.035	1.125	1.7720
1.5847	0.0067	0.027	1.075	1.7035
1.5956	0.0068	0.036	1.150	1.8349
1.5027	0.0067	0.030	1.075	1.6154
1.0629	0.0052	0.019	1.250	1.3287
1.0463	0.0050	0.056	1.225	1.2817

Selanjutnya dibuat grafik hubungan tinggi, kedalaman dan sudut datang gelombang.



Gambar 7. Grafik Hubungan Tinggi, Kedalaman & Sudut Datang Gelombang Arah Selatan Pot. 1

Berdasarkan grafik hubungan tinggi, kedalaman, dan sudut datang gelombang di potongan 3 maka diperoleh :

Tinggi gelombang pecah = 1.32 m

Gelombang pecah pada kedalaman = 0.78 m

PENUTUP

Berdasarkan kajian yang dilakukan terhadap gelombang di pantai Bulu Rerer, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil penggambaran, diperoleh lima arah pembentukan gelombang yaitu, utara, timur laut, timur, tenggara dan selatan. Gelombang di perairan Bulu Rerer didominasi oleh gelombang arah Selatan dengan gelombang maksimum terjadi pada bulan Agustus 2005 dengan tinggi 1.56m dan periode 5.12det.
2. Hasil perhitungan metode analitis diperoleh nilai koefisien refraksi yang terjadi berkisar antara 0.8181 sampai 1.0087 dan koefisien

- shoaling yang terjadi berkisar pada 0.9003 sampai 5.143.
3. Tinggi gelombang yang didapatkan dari hasil perhitungan berkisar pada 0.24m sampai 1.83m pada kedalaman 0.50m sampai 25.0m.
4. Hasil analisa transformasi gelombang pada pantai Bulu Rerer dengan menggunakan data angin 10 tahun diperoleh:
Tinggi gelombang maksimum (H_b) = 1.83m.
Gelombang pecah pada kedalaman (D_b) = 0.78m pada jarak 204.0m dari garis pantai.

DAFTAR PUSTAKA

- Aya Duck. *Gelombang*. http://www.academia.edu/3250863/Gelombang_Laut, diakses Juni 2014.
- CERC. 1984. *Shore Protection Manual*. US Army Coastal Engineering, Research Center. Washington.
- Hadikusumah. *Karakteristik Gelombang Dan Arus Di Eretan, Indramayu*. Bidang Dinamika Laut, Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI, Jakarta.
- Jun13. *Gelombang Laut*. <http://jun13-oseanografidanilmukelautan.blogspot.com/2011/01/gelombang-laut.html>, diakses Juli 2014.
- Samulano, I. 2012. *Refraksi Dan Difraksi Gelombang Laut Di Daerah Dekat Pantai Pariaman*. Program Pascasarjana Universitas Andalas. Padang.
- Triatmodjo, Bambang, 1996. *Pelabuhan*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang, 2012. *Perencanaan Bangunan Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang, 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.